

УДК 612.361.32

Э. И. ГАЛАЙ, доктор технических наук, А. А. ЮЛДАШОВ, аспирант, С. Г. ИНАГАМОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТОРМОЗНОЙ КАМЕРЕ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Описывается воздухораспределитель грузовых вагонов, эксплуатируемых на Белорусской и Узбекской железных дорогах. При аналитическом исследовании дается значение всех показателей в разных режимах торможения для грузовых вагонов, оборудованных разными типами тормозных колодок.

На грузовых вагонах железных дорог Беларуси, Узбекистана, других стран бывшего СССР в эксплуатации находятся воздухораспределители № 483 различных модификаций, которые работают на основе изменения давления сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда (ТМ), рабочей камере (РК) и в тормозной камере (ТК) воздухораспределителя. Если вагон не оборудован авторежимом, камера ТК непосредственно связана с тормозным цилиндром (ТЦ). Давление в камере ТК (рисунок) и в цилиндре ТЦ или в нескольких цилиндрах, в зависимости от конструкции тормозной системы, определяется соотношением площадей главного и уравнительного поршней, их взаимным перемещением и установленным режимом Г, С или П (груженный, средний, порожний), а также величиной зарядного давления  $p_m$  в тормозной магистрали и её разрядки при торможении. Воздухораспределители груженных вагонов могут быть установлены на режим Г или С в зависимости от типа тормозных колодок. На режим Г при чугунных колодках, на режим С при композиционных. Соответственно изменяется величина давления в тормозной камере и в тормозных цилиндрах. При полной загрузке вагона и полном служебном торможении (ПСТ) на режиме С избыточное давление  $p_{\text{ПСТ}} = 0,28 \dots 0,33$  МПа, а на режиме Г  $p_{\text{ПСТ}} = 0,39 \dots 0,45$  МПа [1, 5].

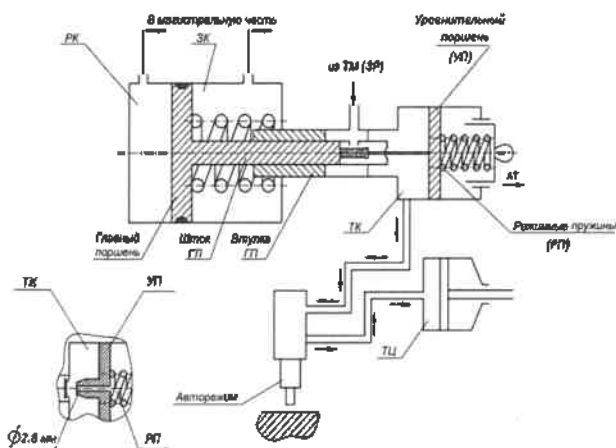


Рисунок 1 – Схема поступления воздуха в тормозной цилиндр при торможении

В последнее время в связи с оснащением грузовых вагонов автоматическими регуляторами давления в тормозных цилиндрах воздухораспределителя включают на режим Г или С в зависимости от типа колодок – чугунные или композиционные. При установке композиционных колодок тормозная рычажная передача не

имеет возможности переключения на большую или меньшую величину передаточного числа.

Время  $t_{\text{н}}$  затрачиваемое на наполнение тормозного цилиндра, определяется параметрами магистральной части воздухораспределителя, что обеспечивает некоторое выравнивание значений  $t_{\text{н}}$  по всему поезду, хотя начало срабатывания воздухораспределителей определяется скоростью распространения тормозной волны до 270 м/с при служебном торможении и до 300 м/с при экстренном [2, 3].

Выделение различных режимов работы воздухораспределителя Г, С или П является важным, когда в тормозной системе вагона нет авторежимов. Например в США, где применяются однорежимные воздухораспределители, порожние и груженные вагоны имеют одинаковую величину давления в тормозных цилиндрах при торможении без авторежимов и тормозной путь груженого грузового поезда может достигать нескольких километров в зависимости от скорости движения [4].

Рассмотрим работу тормозной системы полногрузного вагона, когда давление в камере ТК равно давлению в тормозном цилиндре  $p_{\text{ТК}} = p_{\text{ТЦ}}$ .

В процессе торможения наполнение рабочего объема  $V_{\text{т}}$  тормозного цилиндра начинается при отпущенном тормозе, когда его поршень находится в крайнем положении и принимает величину объема  $V_{\text{т}} = 0$ . Затем, при повышении давления и перемещении поршня, рабочий объем цилиндра увеличивается до значения, величина которого зависит от регулировки тормозной рычажной передачи и износа тормозных колодок. Величина рабочего объема зависит также от глубины разрядки тормозной магистрали и установленного режима торможения. При наличии автоматического регулятора хода поршня выход штока, который устанавливает рабочий объем цилиндра, можно определить по формуле

$$L_{\text{т}} = nl + l_{\text{ТРП}}, \quad (1)$$

где  $n$  – передаточное число рычажной передачи (ТРП);  $l$  – нормативный зазор между колодкой и колесом при отпущенном тормозе – 5–8 мм;  $l_{\text{ТРП}}$  – часть хода поршня за счет деформации элементов рычажной передачи и зазоров в шарнирных соединениях. Зависит от степени износа шарнирных соединений.

Расчетная величина выхода штока  $L_{\text{т}}$  при максимальном давлении в тормозном цилиндре  $p_{\text{ТЦmax}}$  допускается от 50 до 100 мм у вагонов с композиционными тормозными колодками и от 75 до 125 мм у вагонов с чугунными колодками. При двухцилиндровой системе выход штока меньше и составляет 25–65 мм при композиционных и 30–90 мм при чугунных колодках.

Избыточное начальное давление в тормозной магистрали и запасном резервуаре  $p_m = p_{\text{зр}} = 0,53 \dots 0,55$  МПа. Для получения полного служебного торможения давление в тормозной магистрали снижается до  $p_{\text{мтс}} = 0,35 \dots 0,37$  МПа, а при экстренном торможении тормозная магистраль разряжается до нуля (атмосферного давления). Соответственно при полном служебном торможении имеется возможность подпитывать тормозной цилиндр и запасный резервуар из тормозной магистрали, а при экстренном система располагает только воздухом, имеющимся в запасном резервуаре объемом 78 л.

При экстренном торможении происходит ускоренная разрядка тормозной магистрали темпом 0,08 МПа/с и выше. Золотниковая камера и её полости быстро разряжаются через магистральную часть воздухораспределителя и главный поршень сжимая пружину, перемещается до упора во втулку (см. рисунок 1).

Повышение давления в тормозном цилиндре идёт замедленным темпом через отверстие диаметром 1,7 мм в полум штоке главного поршня.

При полном служебном торможении, а в хвостовой части поезда и при экстренном торможении, давление в золотниковой камере понижается медленно и наполнение тормозного цилиндра происходит быстрее в начале через четыре отверстия диаметром по 3 мм, а затем через отверстие диаметром 1,7 мм.

Время наполнения составляет примерно 14–20 с при экстренном и 16–22 с при полном служебном торможении.

Такой принцип наполнения тормозного цилиндра применяется для того, чтобы уменьшить продольно-динамические усилия в поезде.

Срабатывание воздухораспределителей на торможение происходит при понижении давления в тормозной магистрали ТМ темпом  $\frac{dp}{dt}$ , равным 0,01–0,05 МПа/с

при служебном торможении. Глубина разрядки ТМ увеличивается на 0,05–0,06 МПа при первой ступени торможения и на 0,15–0,17 МПа при полном служебном. Таким образом, при полном служебном торможении, когда реализуется максимальная тормозная сила и максимальное давление в тормозных цилиндрах, в тормозной магистрали сохраняется давление  $p_{\text{мтс}} = 0,38 \dots 0,40$  МПа, которое поддерживается через кран машиниста в положении «перекрышка с питанием».

В процессе торможения происходит снижение давления в золотниковой камере (ЗК) и главный поршень под избыточным давлением со стороны рабочей камеры РК перемещается вправо (по рисунку 1). Клапан внутри полого штока главного поршня отходит от своего седла под действием хвостовика уравнительного поршня, подпираемого режимными пружинами. Перемещение уравнительного поршня зависит от перемещения главного поршня и усилия режимных пружин и пропорционально получаемому давлению в тормозном цилиндре.

Объем рабочей камеры (РК), равный 6 л ( $0,006 \text{ м}^3$ ), увеличивается на величину 0,228 л ( $0,000228 \text{ м}^3$ ) при максимальном перемещении главного поршня ГП на 0,024 м после полного служебного или экстренного торможения.

Поступление сжатого воздуха в тормозной цилиндр головного вагона начинается через 3–4 с после начала

торможения и продолжается до момента наполнения цилиндра до величины давления, соответствующего  $i$ -й ступени торможения.

Окончательно из условия равновесия главного поршня в процессе торможения можно записать:

$$p_{\text{рк}i} S_{\text{г}} = p_{\text{зк}i} (S_{\text{г}} - S_{\text{ш}}) + P_{\text{г}} + j_{\text{г}} h_{\text{г}i} + R_i, \quad (2)$$

где  $p_{\text{рк}i}$  – давление в РК при  $i$ -й ступени торможения, МПа;  $S_{\text{г}}$  – площадь главного поршня,  $\text{м}^2$ ;  $p_{\text{зк}i}$  – давление в золотниковой камере, МПа;  $S_{\text{ш}}$  – площадь поперечного сечения штока главного поршня,  $\text{м}^2$ ;  $P_{\text{г}}$  – усилие пружины главного поршня в положении отпуска, Н;  $j_{\text{г}}$  – жесткость пружины главного поршня, Н/м;  $h_{\text{г}i}$  – перемещение главного поршня при торможении, м; (тормозном цилиндре) в процессе торможения, МПа;  $R_i$  – сопротивление перемещению главного поршня за счет давления в тормозной камере, Н,

$$R_i = S_{\text{ш}} p_{\text{ш}}, \quad (3)$$

$p_{\text{ш}}$  – давление в тормозной камере.

Для упрощения, учитывая незначительный диаметр полого штока, можно принять при ступени торможения  $S_{\text{ш}} p_{\text{ш}} = 0$ . При полном служебном и экстренном торможениях на порожнем режиме  $S_{\text{ш}} p_{\text{ш}} = 70$  Н, среднем – 140 Н и груженом – 190 Н.

В конце процесса наполнения тормозной камеры и тормозного цилиндра величина конечного давления в них будет зависеть от усилия режимных пружин, установленных на режим Г, С или П в соответствии с нагрузкой вагона и типом тормозных колодок. При этом устанавливается равновесие элементов воздухораспределителя – диафрагмы в магистральной части, главного и уравнительного поршней в главной части. Из условия равновесия магистральной диафрагмы ( $S_{\text{м}}$  – площадь диафрагмы) следует

$$p_{\text{м}i} S_{\text{м}} - p_{\text{зк}i} S_{\text{м}}, \quad (4)$$

т. е.  $p_{\text{м}i}$  – давление в ТМ при ступени торможения равно  $p_{\text{зк}i}$  – давлению в золотниковой камере.

Из условия равновесия уравнительного поршня в режимной части

$$p_{\text{ш}} S_{\text{у}} = p_0 S_{\text{у}} + P_{\text{у}} + j_{\text{у}} l_{\text{у}}, \quad (5)$$

где  $p_{\text{ш}}$  – абсолютное давление в тормозной камере (тормозном цилиндре) при служебном или экстренном торможении, МПа;  $p_0$  – атмосферное давление,  $p_0 \approx 0,1$  МПа;  $S_{\text{у}}$  – площадь уравнительного поршня,  $\text{м}^2$ ;  $P_{\text{у}}$  – усилие предварительного сжатия режимных пружин, Н;  $j_{\text{у}}$  – суммарная жесткость режимных пружин,  $j_{\text{у}} = j_{\text{б}} + j_{\text{м}}$ , Н/м;  $j_{\text{б}} + j_{\text{м}}$  – жесткость большой и малой режимных пружин, Н/м;  $l_{\text{б}}$ ,  $l_{\text{м}}$  – перемещение уравнительного поршня при ступени и полном торможении, м.

Суммарная жесткость режимных пружин  $j_{\text{у}}$  зависит от установленного режима: порожний –  $j_{\text{уп}} = j_{\text{б}}$ ; средний –  $j_{\text{ус}} = j_{\text{б}} + 0,5 j_{\text{м}}$ ; груженный –  $j_{\text{ут}} = j_{\text{б}} + j_{\text{м}}$ .

Перемещение главного поршня  $h_{\text{г}i}$  в процессе торможения связано с давлением в рабочей камере РК соотношением

$$(V_{\text{рк}} + S_{\text{г}} h_{\text{г}i}) = p_{\text{рк}} V_{\text{рк}}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{рк}}$  – объем рабочей камеры,  $\text{м}^3$ ;  $p_{\text{рк}}$  – абсолютное зарядное давление в камере РК.

Полагая, что давление в рабочей камере  $p_{pk} = p_m$  и в золотниковой камере при  $i$ -й ступени торможения  $p_{pk} = p_{wi} = p_{mi}$  и решая совместно уравнения (2) и (6) относительно  $h_i$ , получим квадратное уравнение типа

$$\alpha h_i^2 + \beta h_i + \gamma = 0, \quad (7)$$

где  $\alpha = j_r S_r$ ;

$$\beta = j_r V_{pk} + S_r p_{mi} (S_r - S_{ш}) + P_r S_r;$$

$$\gamma = V_{pk} [S_r - S_{ш}] p_{mi} + P_r - S_r p_{wi}.$$

Фактическое перемещение главного поршня при ступени торможения  $h_i = h_{xi} \eta_m$  где  $\eta_m$  – механический коэффициент полезного действия, который учитывает силы трения при перемещениях главного поршня и полого штока. Для воздухораспределителя № 483 он принимается в пределах  $\eta_m = 0,92 \dots 0,96$  в зависимости от приработки манжет поршня и полого штока и конструкции штока.

Если в результате расчетов получено значение  $h_i \geq 0,024$  м (полный ход главного поршня  $h = 0,024$  м, то это означает, что при данной величине разрядки тормозной магистрали имеет место полное служебное или экстренное торможение.

Тормозной клапан открывается при перемещении главного поршня для контакта с седлом (нипелем) уравнительного поршня с просверленным в нем атмосферным отверстием диаметром 2,8 мм. После контакта перемещение главного поршня должно составить не менее 0,002 м и атмосферный канал будет закрыт. Давление в тормозной камере  $p_{wi}$  перед уравнительным поршнем определяется усилием режимных пружин, воздействующих на поршень, и установленного П, С или Г режима.

После ступени торможения перемещение уравнительного поршня под действием полученного давления

$$l_i = h_i - (h_0 + 0,002), \quad (8)$$

а полученное давление в тормозной камере и тормозном цилиндре

$$p_{wi} = \frac{S_y p_0 + P_y + j_y l_i}{S_y}. \quad (9)$$

При полном служебном и экстренном торможениях главный и уравнительный поршни совершают полный рабочий и  $h_i = h$ ,  $l_i = l_y$ . Жесткость и усилие сжатия ре-

Получено 30.10.2020

**E. I. Galay, A. A. Yuldashov, S. G. Inagamov.** About analytical study of pressure changes in the brake chamber and brake cylinders of the air distributor of a freight car.

The article describes the air distributor of a freight car operated on freight cars of the Belarusian and Uzbek Railways. The analytical study gives a certain value of all indicators in different braking modes for freight cars equipped with different types of brake pads. The reaction of the air distributor in horizontal and vertical positions is also explained.

жимных пружин определяют величину давления в тормозной камере и тормозном цилиндре  $p_{wi}$ .

Из уравнений (1) и (5) можно определить потребное сниженное давление в тормозной магистрали при полном служебном торможении

$$p_{mnc} = \left( \frac{S_r p_{pk} + V_{pk}}{V_{pk} + S_r h} - P_r - R - j_r h \right) \cdot (S_r - S_{ш})^{-1}. \quad (10)$$

Величина  $p_m = p_{mnc}$  является минимальным значением глубины разрядки тормозной магистрали одного вагона при полном служебном торможении. Для получения ПСТ в поезде нормальной длины обычно производят разрядку тормозной магистрали на 0,15–0,17 МПа.

При повышении давления в тормозной магистрали происходит отпуск тормозов, причем конструкция воздухораспределителей грузового типа такова, что отпуск тормоза в головной части состава протекает медленнее чем в хвостовой, поэтому по всему поезду средней длины на равнинном режиме отпуск происходит практически одновременно за время 20–25 с. Следует отметить, что при существующей конструкции воздухораспределителя № 483, когда подвижные элементы расположены горизонтально, это способствует их одностороннему износу. Завод «Трансмаш» разработал конструкцию воздухораспределителя № 483А с монтажом главной и магистральной частей в вертикальном положении в разрез тормозной магистрали без тройника и подводящей трубы с помощью безрезьбовых трубных соединений, что позволяет уменьшить износ фрикционных элементов и влияние продольных динамических усилий в поезде.

С помощью проведенных вычислений определяются параметры давления в тормозном цилиндре при торможении.

#### Список литературы

- 1 Галай Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Расчет пневматических тормозов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 271 с.
- 2 Иноземцев, В. Г. Автоматические тормоза / В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1981. – 463 с.
- 3 Казаринов, В. М. Теоретические основы проектирование и эксплуатации автотормозов / В. М. Казаринов, В. Г. Иноземцев, В. Ф. Ясенцев. – М. : Транспорт, 1968. – 399 с.
- 4 Car & locomotive Cyclopedia, 1997. – 916 p.
- 5 Общее руководство по ремонту тормозного оборудования вагонов. – Инструкция 732 – ЦВ–ЦЛ. – 2010. – 182 с.